

# I—Experiências escolares com o osciloscópio de raios catódicos em que não se utiliza a base de tempo

A) — Observação dos desvios sofridos pelo sinal luminoso quando se submete o feixe electrónico à acção de campos magnéticos e eléctricos

por RÓMULO DE CARVALHO

Na «Introdução à utilização do osciloscópio», ao falarmos do modelo *Phywe* constituído pelo tubo catódico e por mais três blocos (fig. 3), dissemos que dispensaríamos, para já, as referências ao terceiro desses blocos (base de tempo) por não ser necessário o seu emprego na primeira série de experiências que iriam ser descritas (§§ 3 e 6). De facto, a colecção de fichas de electricidade da casa *Phywe*, apresenta algumas experiências (E 3241, 3242, 3243) em que apenas se utilizam os dois primeiros blocos, mas a exploração mais demorada desse material mostrou-nos que é vantajoso trabalhar com os três blocos ligados mesmo quando não se utilizam as tensões da chamada «base de tempo». A colocação do ponto luminoso no centro do alvo é mais fácil de se conseguir com o terceiro bloco ligado do que sem ele.

A figura 8 esquematiza o painel desse terceiro bloco o qual apresenta os seguintes terminais para fichas de banana:

Placas *X* e *Y* (indicadas por  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_1$  e  $Y_2$ );

Tensão de 250V, de corrente contínua;

Tensão de 6,3V, de corrente alternada;

Terminais  $Y_v$ , e o que se encontra abaixo dele assinalado por  $\ominus$ , de

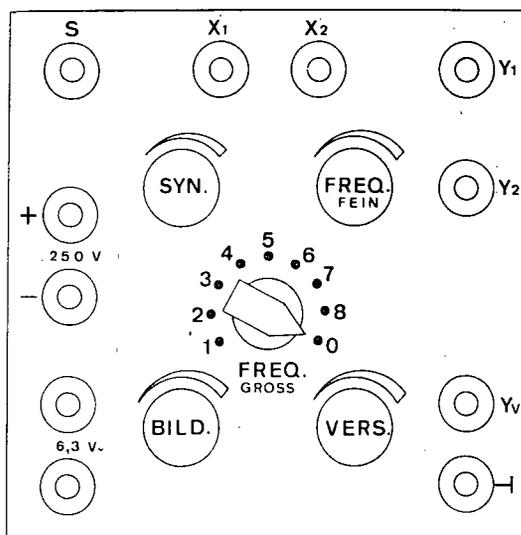


Fig. 8 — Painel do bloco da «base de tempo» (terceiro bloco da figura 3) do modelo *Phywe*.

um amplificador vertical de tensões, comandado pelo potenciômetro, à esquerda, que apresenta a designação de *Verstärkung*.

O manipulador central do painel (*Freq. gross*), que pode ocupar nove posições diferentes, o terminal *S* e os três restantes potenciômetros (*Syn.*, *Freq. fein* e *Bild.*) só interessam à utilização das tensões da base de tempo. Importa acrescentar que o referido manipulador central deverá estar colocado na posição zero nas experiências que irão seguir-se.

Os três blocos (de funcionamento, de alimentação e de base de tempo) serão

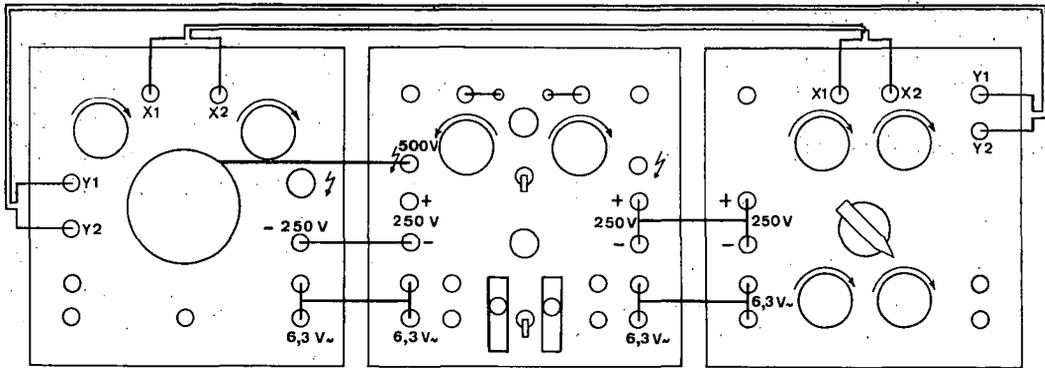


Fig. 9 — Esquema do conjunto dos três blocos que fazem parte da montagem do osciloscópio do modelo 00730 (*Phywe*), a que se refere a figura 3: bloco de funcionamento, bloco de alimentação e base de tempo. No esquema estão representadas as ligações que devem estabelecer-se entre eles, para as quais o material fornecido já possui fios com os tamanhos devidos e fichas próprias.

ligados, entre si, de acordo com o esquema da figura 9. Como nele se vê, é indiferente, depois de montado o conjunto, efectuar as ligações que se pretenderem fazer às placas *XX* e *YY*, no primeiro ou no terceiro blocos.

Como medida geral de protecção convém ter sempre a massa do osciloscópio ligada à terra (fig. 5, para o modelo *Phywe*, e fig. 19 para o *MAE*).

#### Sumário das experiências:

1. Acção de um campo magnético sobre o feixe electrónico.
  - 1.1. Campo magnético criado por um íman.
  - 1.2. Campo magnético criado por uma bobina percorrida por corrente contínua.
2. Acção de uma tensão eléctrica contínua sobre o feixe electrónico.
  - 2.1. Tensão contínua fornecida por uma fonte independente.

2.1.1. Uso do osciloscópio como voltímetro de corrente contínua.

2.1.2. Uso do osciloscópio como amperímetro de corrente contínua.

2.2. Tensão eléctrica fornecida pelo próprio bloco de alimentação do osciloscópio.

2.3. Carga e descarga de um condensador.

3. Acção simultânea de duas tensões eléctricas contínuas sobre o feixe electrónico.

4. Acção de uma tensão eléctrica alternada.

4.1. Tensão alternada fornecida por uma fonte independente.

4.1.1. Uso do osciloscópio como voltímetro de tensão alternada.

4.2. Tensão alternada fornecida pelo próprio bloco de alimentação do osciloscópio.

5. Acção de um campo magnético criado por uma bobina percorrida por corrente alternada.
6. Acção simultânea de duas tensões alternadas sobre o feixe electrónico.
  - 6.1. Tensões alternadas, em fase, com iguais frequências e amplitudes.
    - 6.1.1. Tensões alternadas fornecidas por uma fonte independente do osciloscópio.
    - 6.1.2. Tensões alternadas fornecidas pelo bloco de alimentação do osciloscópio.
  - 6.2. Tensões alternadas, de iguais frequências e amplitudes, desfasadas de  $90^\circ$ .
  - 6.3. Tensões alternadas, de iguais frequências e amplitudes, desfasadas de  $180^\circ$ .

### 1. Acção de um campo magnético sobre o feixe electrónico.

#### 1.1. Campo magnético criado por um íman.

Aproximando, do tubo catódico, um dos pólos de um íman em barra observa-se o deslocamento do sinal luminoso.

A direcção e o sentido desse deslocamento dependem da orientação do vector indução magnética no ponto onde o sinal se encontra. No exemplo esquematizado na figura 10, aproxima-se o pólo *N* do íman da região superior do tubo catódico de tal modo que o vector  $B_1$ , no centro do alvo, seja dirigido de cima para baixo. Nestas condições o sinal desloca-se para a esquerda (seta tracejada). Descendo o íman de modo a fazer actuar os vectores

$B_2$  ou  $B_3$ , sobre o sinal luminoso, no centro do alvo, os deslocamentos do ponto far-se-ão para cima ou para a direita, respectivamente. Em qualquer dos casos o sentido do deslocamento pode ser previsto pela aplicação da regra dos três dedos da mão direita (considerando o sentido convencional da corrente) ou da mão esquerda (considerando o sentido real). Convém que a aproximação do íman seja feita a meio do comprimento do tubo catódico, e não perto do alvo.

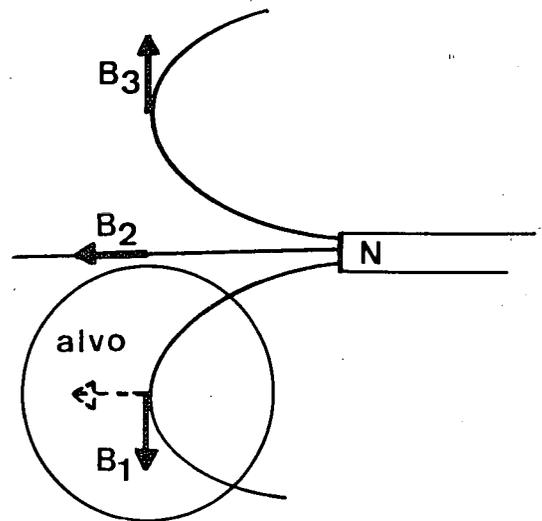


Fig. 10 — O sentido do deslocamento do sinal depende da zona do tubo catódico da qual se aproxima o íman, e do respectivo pólo aproximado ser norte ou sul.

É interessante utilizar um íman em barra, móvel em torno de um eixo horizontal que seja paralelo ao feixe catódico, pondo-o rapidamente em rotação (fig. 11). Ver-se-á no alvo uma linha luminosa fechada, quase circular, motivada pela rotação do sinal.

O material para esta última experiência constará de um pequeno íman em barra, com um orifício central por onde se faz passar uma haste metálica, e de uma base com barra vertical e grampo onde se fixa a haste anterior. Para evitar

que o íman salte da haste ao ser impulsionado convém enfiar, por exemplo, uma rolha na extremidade livre daquela.

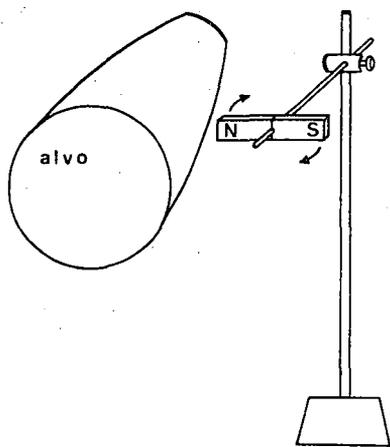


Fig. 11 — Rodando o íman vê-se, no alvo, uma linha luminosa fechada, quase circular.

### 1.2. Campo magnético criado por uma bobina percorrida por corrente contínua.

A experiência 1.1. realizada com um ímã em barra pode naturalmente ser efectuada com uma bobina percorrida por uma corrente contínua.

O modelo *MAE* já traz consigo três bobinas, como núcleo de ferro, instaladas em redor do tubo catódico (duas das quais se vêem perfeitamente na figura 2) cujos eixos fazem entre si ângulos de  $120^\circ$ . Destinam-se às experiências a que nos referimos agora, sem as retirar dos lugares onde estão.

Monta-se um circuito com uma pilha seca (4,5 V), interruptor, caixa de resistências e uma das bobinas (no caso do modelo *MAE*). Obtido o sinal luminoso e fechado o circuito da pilha, provoca-se naquele um desvio cuja direcção e sentido dependem da orientação do eixo da bobina que foi utilizada, e da respectiva polaridade. Com uma resistência de  $30\ \Omega$  introduzida na caixa, o sinal desloca-se

cerca de 4 cm. Aumentando ou diminuindo a resistência notar-se-á que o desvio é, respectivamente, menor ou maior. Trocando a polaridade na bobina, o desvio mantém a mesma direcção mas muda de sentido.

No caso do modelo *Phywe* utiliza-se uma bobina (por exemplo de 300 espiras e 4 A) ligada à pilha seca, sem caixa de resistências. Aproximando do tubo catódico um ou outro dos pólos da bobina, observa-se o desvio do sinal. Em cada uma das faces laterais da caixa de protecção do tubo, neste modelo, existem uns orifícios onde se pode instalar uma pequena placa de plástico que serve de apoio à bobina quando se pretende mantê-la fixa.

## 2. Acção de uma tensão eléctrica contínua sobre o feixe electrónico.

Estuda-se o efeito de uma tensão eléctrica contínua sobre o feixe electrónico estabelecendo essa tensão entre as placas *XX* ou *YY* do tubo catódico. A fonte que fornece a tensão pode ser independente do dispositivo ou ser a dos próprios blocos de alimentação anexos a qualquer dos modelos de osciloscópio.

### 2.1. Tensão contínua fornecida por uma fonte independente.

a) A fonte independente pode ser uma pilha seca, de 4,5 V. Ligando-a directamente aos terminais *XX* ou *YY* observa-se um desvio do sinal de cerca de 2 mm, o que é insuficiente para se apreciar, com segurança, o efeito da tensão aplicada.

b) Uma fonte de tensão contínua, variável dentro de largos limites, que os liceus possuem, é o bloco de alimentação

representado na figura 7. No caso do osciloscópio do modelo *Phywe*, esse mesmo bloco faz parte do próprio conjunto (bloco central da figura 3) e não se deve, portanto, designar como fonte independente. Isso só é verdade para o caso do modelo *MAE*. Entretanto as experiências que vão seguir-se efectuam-se semelhantemente com qualquer dos modelos.

Ligam-se os terminais *XX* aos terminais 0...250 V do bloco *Phywe*, com fios de bananas de derivação, às quais se liga também um voltímetro, V (fig. 12).

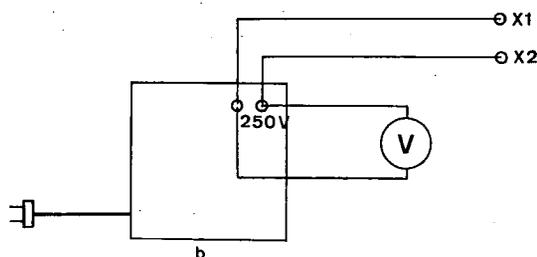


Fig. 12 — Depois de obtido o sinal luminoso no alvo do osciloscópio, fecha-se o circuito do bloco (b) de alimentação (interruptor I; manípulo M dirigido para baixo, fig. 7). Rodando o botão  $P_2$  (fig. 7) vai-se aumentando a tensão que o voltímetro acusa. O sinal desvia-se lentamente na direcção horizontal. Na figura, os terminais  $X1$  e  $X2$  referem-se a qualquer dos modelos de osciloscópio.

Manobrando o botão do respectivo potenciómetro ( $P_2$ , da fig. 7) vê-se que o sinal se desloca, na horizontal, cerca de 1 cm para 25 V, medidos no voltímetro, ou seja cerca de 0,4 mm/V. Trocando a polaridade nos terminais *XX*, o desvio dá-se em sentido contrário.

Procedendo análogamente com os terminais *YY* observar-se-á que os desvios se dão na direcção vertical. Os desvios do feixe electrónico provocados por tensões estabelecidas nas placas *YY* são um pouco maiores do que os desvios provocados por iguais tensões aplicadas às

placas *XX*. A diferença é da ordem de 0,05 mm/V.

Para facilitar as leituras dos desvios apresenta o modelo *Phywe*, defronte do alvo, uma lâmina de plástico transparente com dois traços normais entre si cujo cruzamento acerta com o centro do alvo. Um traço é vertical e está dividido em partes de 2 mm de comprimento; o outro, horizontal, está dividido em intervalos de 5 mm. A lâmina apresenta também vários traços horizontais, distanciados entre si de 2 cm.

O modelo *MAE* não tem referências para leituras de comprimento no alvo, o que, aliás, não é difícil de improvisar.

#### 2.1.1. Uso do osciloscópio como voltímetro de corrente contínua.

Conhecida a sensibilidade do instrumento no que respeita à grandeza do desvio do feixe electrónico no alvo (0,4 mm/V), podemos utilizar o osciloscópio como voltímetro de corrente contínua. Se no circuito representado na figura 12 não tivessemos instalado o voltímetro (V), poderíamos conhecer o valor da tensão colhida no bloco de alimentação, ou noutra origem qualquer, a partir do valor do desvio ( $d$ ) do sinal luminoso no alvo. A tensão valeria  $\frac{d}{0,4}$  V, me-

dindo  $d$  em milímetro. Quando o alvo do osciloscópio possui traços de referência como no modelo *Phywe*, é fácil graduá-lo, propositadamente, em valores de tensões.

#### 2.1.2. Uso do osciloscópio como amperímetro de corrente contínua.

Para determinar, a partir do osciloscópio, o valor da intensidade de uma corrente contínua que percorre um circuito, bastará medir, por intermédio daquele

(2.1.1.), a tensão nos terminais de uma resistência conhecida instalada nesse circuito e percorrida pela corrente cuja intensidade se quer avaliar. A lei de Ohm permitirá então conhecer o valor de  $I$ .

Montemos o circuito representado na figura 13, no qual será lançada uma corrente (fornecida pelo bloco *Phywe*) cuja intensidade se pretende avaliar. Ligue-mos os terminais de uma resistência conhecida  $AB$  ( $560\ \Omega$ ) aos terminais  $XX$  (ou  $YY$ ) do osciloscópio e lancemos a corrente no circuito. Rodando o botão do potenciômetro do bloco ( $P_2$ , fig. 7), ver-se-á o sinal luminoso desviar-se. (Não

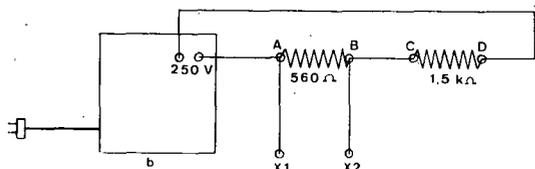


Fig. 13 — Ligando os terminais,  $AB$  ou  $CD$ , das resistências figuradas, às placas  $XX$  ou  $YY$  do osciloscópio, pode-se chegar ao conhecimento do valor da intensidade da corrente que percorre o circuito a partir da medida do desvio do sinal luminoso.

convém que o desvio exceda 40 mm para que a corrente não ultrapasse os 50 mA que o bloco *Phywe* suporta).

Suponhamos que o desvio considerado era de 7 mm. Como a sensibilidade do desvio é de 0,4 mm/V, ficaríamos sabendo que a tensão nos terminais da resistência  $AB$  valia 17,5 V. A intensidade da corrente no circuito seria dada por

$$I = \frac{17,5\text{ V}}{560\ \Omega} = 0,031\text{ A}, \text{ portanto } 31\text{ mA}.$$

Se fizéssemos a experiência com a resistência  $CD$  ( $1,5\text{ k}\Omega$ ), mantendo o botão do potenciômetro na mesma posição anterior, obteríamos um desvio de 18 mm, que corresponde à tensão de 45 V e dá para valor de intensidade, 30 mA.

Os valores de  $V$  e de  $I$  poderiam ser confirmados por meio de um voltímetro e de um amperímetro<sup>(1)</sup>.

## 2.2. Tensão eléctrica fornecida pelo próprio bloco de alimentação do osciloscópio.

No caso do osciloscópio do modelo *MAE* pode-se observar o desvio do sinal luminoso, produzido por uma tensão contínua, recorrendo ao bloco de alimentação anexo (fig. 6), onde se colhem as tensões de 150 V e de 275 V.

A utilização de qualquer destas tensões provocaria desvios do sinal luminoso que o fariam sair do alvo. Para o desvio ser observável será necessário introduzir, no circuito, resistências bastantes elevadas, como sejam 2 megaohm para a tensão de 150 V (fig. 14). Note-se que o circuito fica

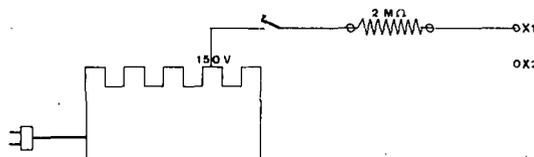


Fig. 14 — Utilização do bloco *MAE* para aplicação de uma tensão contínua nas placas  $XX$  do osciloscópio.

fechado apenas com o fio de ligação que a figura representa. Não é necessário ligar qualquer dos terminais zero do bloco (fig. 6) ao terminal  $X2$  do osciloscópio porque tanto este terminal como o zero do bloco estão ligados à Terra por intermédio das massas dos aparelhos e do cabo condutor que liga o bloco ao tubo.

(1) As resistências indicadas foram escolhidas de modo a perfazerem cerca de  $2\text{ k}\Omega$ , valor que a experiência mostrou ser conveniente. Estas, e outras resistências, dentro de uma grande escala de valores, em modelos de pequenas dimensões, adquirem-se nas boas casas de material eléctrico por preços insignificantes.

Fazendo a ligação a  $X1$ , o sinal desvia-se para a direita; se for a  $Y1$  desvia-se para cima.

Nas condições da experiência o desvio obtido é de cerca de 6 cm. Com a mesma resistência de  $2\text{ M}\Omega$  e a tensão de 275 V do bloco de alimentação, o sinal luminoso saíria do alvo.

O caso do modelo *Phywe* já foi considerado em 2.1.

### 2.3. Carga e descarga de um condensador.

Pode-se aproveitar o circuito da experiência 2.2. (fig. 14) para se observarem os efeitos da carga e da descarga de um condensador, com o material *MAE* (2).

Liga-se um condensador ( $2\ \mu\text{F}$ ; 160 V), em paralelo, aos terminais  $X1, X2$  (ou  $Y1, Y2$ ) do osciloscópio (fig. 15). Quando se fecha o circuito o condensador carrega-se, lentamente, através dos  $2\text{ M}\Omega$ , à

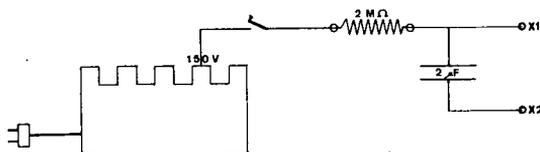


Fig. 15 — Montagem para apreciar os efeitos da carga e da descarga de um condensador utilizando o modelo *MAE*.

medida que aumenta a tensão entre as placas  $XX$ . Quando se interrompe o circuito, o condensador descarrega-se, também lentamente, através de uma resistência de  $1\text{ M}\Omega$  que liga, entre si, no interior do osciloscópio, os terminais  $X1$  e  $X2$ .

Na realização da experiência vê-se o sinal luminoso desviar-se, muito lentamente, do centro do alvo para a direita

(2) Não obtivemos resultados satisfatórios com o modelo *Phywe*.

até uma distância de cerca de 6 cm, quando se fecha o circuito; e regressar lentamente ao centro do alvo quando se interrompe o circuito (3).

Pela razão anteriormente citada (2.2) não é necessário estabelecer a ligação entre  $X2$  e o terminal zero do bloco de alimentação.

### 3. Acção simultânea de duas tensões eléctricas contínuas sobre o feixe electrónico.

No caso do modelo *MAE* a experiência pode ser realizada utilizando a tensão de 150 V da caixa de alimentação do osciloscópio, de acordo com o esquema da figura 16. Observar-se-à que o desvio do ponto luminoso se faz, aproximadamente,

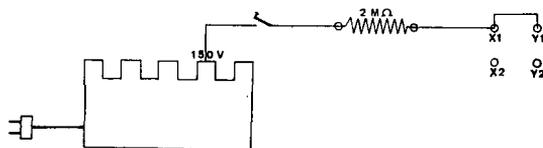


Fig. 16 — Aplicação simultânea de uma tensão contínua aos dois pares de placas do tubo catódico.

segundo a directriz do 1.º quadrante, no sentido ascensional.

No caso do modelo *Phywe* vai-se buscar a tensão aos terminais 0...250 V do bloco de alimentação, bastando fazer a ligação do terminal + a  $X_A$  e a  $Y_A$ , porque o terminal negativo está ligado, interiormente, a  $X_B$  e a  $Y_B$ . Usar-se-à também, neste caso, a resistência de  $2\text{ M}\Omega$  indicada na figura 16.

(3) Análogamente ao que dissemos na nota à experiência 2.1.2, também os condensadores se adquirem, por baixo preço, nas boas casas da especialidade.

#### 4. Acção de uma tensão eléctrica alternada.

Estuda-se o efeito de uma tensão eléctrica alternada sobre o feixe electrónico, estabelecendo-a entre as placas  $XX$  ou  $YY$  do tubo catódico. O efeito da tensão alternada sobre o sinal luminoso será o de desviá-lo, numa mesma direcção, ora num sentido ora no sentido contrário, provocando, no observador, a impressão de um traço contínuo devido à persistência das imagens na retina, desde que a frequência da corrente seja suficientemente elevada. O traço luminoso será horizontal se a tensão tiver sido estabelecida nos terminais  $XX$  ou vertical no caso dos terminais  $YY$ . A extensão do traço depende do valor da tensão aplicada.

A fonte que fornece a tensão pode ser independente do dispositivo ou ser a do próprio bloco de alimentação anexo a qualquer dos modelos de osciloscópio.

##### 4.1. Tensão alternada fornecida por uma fonte independente

A fonte utilizada poderia ser uma tomada da rede pública, de 220 V, o que não convém porque origina um traço luminoso que excede muito o diâmetro do alvo.

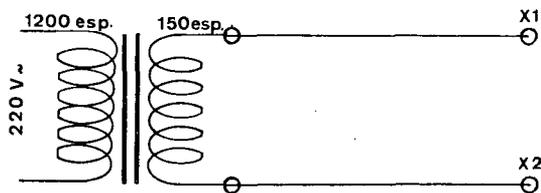


Fig. 17 — Montagem para estudo do efeito de uma tensão alternada sobre o feixe catódico, em qualquer dos modelos *MAE* ou *Phywe*. O material para o transformador faz normalmente parte dos conjuntos eléctricos fornecidos aos liceus.

Baixaremos a tensão da corrente montando um transformador, por exemplo com uma bobina de 1200 espiras (primário) e outra de 150 espiras (secundário).

Os terminais desta última ligam-se às placas  $XX$  ou às  $YY$  (fig. 17).

No modelo *MAE* obtém-se um desvio de cerca de 6 cm; no modelo *Phywe*, de cerca de 3 cm.

##### 4.1.1. Uso do osciloscópio como voltímetro de tensão alternada.

O comprimento do traço luminoso a que se refere a experiência anterior, permite conhecer o valor da tensão aplicada às placas. Sucede porém que o feixe electrónico, por não ter praticamente inércia, assinala, no alvo, os valores instantâneos da tensão aplicada, donde resulta que o comprimento do traço luminoso se refere à «tensão máxima» da corrente e não à sua «tensão eficaz», que é o valor que se pretende medir.

Se for  $c$  o comprimento total do traço luminoso, a tensão máxima aplicada às placas corresponderá ao comprimento  $\frac{c}{2}$ .

Admitindo que a sensibilidade do instrumento é de 0,4 mm/V, o comprimento  $\frac{c}{2}$

corresponde a  $\frac{c}{2 \times 0,4}$  volt, com o valor

de  $c$  expresso em milímetro. O valor da tensão máxima será de  $\frac{c}{0,8}$ , em volt, e

o valor da tensão eficaz, no caso de se tratar de uma tensão sinusoidal, será

$\frac{c}{0,8\sqrt{2}}$ , também em volt.

##### 4.2. Tensão alternada fornecida pelo próprio bloco de alimentação do osciloscópio.

###### a) modelo *MAE*

O bloco de alimentação deste modelo (fig. 6) fornece uma tensão alternada de 6,3 V que pode ser aplicada às placas  $XX$  (fig. 18) ou  $YY$ . Como a tensão é baixa, observa-se no alvo um traço luminoso

muito curto, de cerca de 1 cm de comprimento. Usando as placas *YY* o comprimento é maior (1,4 cm).

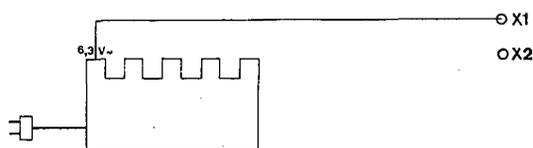


Fig. 18 — Aplicação da tensão alternada (6,3 V~) do bloco de alimentação do modelo *MAE* às placas *XX* do osciloscópio.

Os pequenos traços observados no alvo podem ser ampliados recorrendo a amplificadores de tensão. O osciloscópio *MAE* possui dois painéis de comando (fig. 2), um na parte posterior do tubo catódico, ao alto (já reproduzido na figura 4), e outro em baixo, na face anterior (fig. 19). Neste encontram-se, à esquerda (e à di-

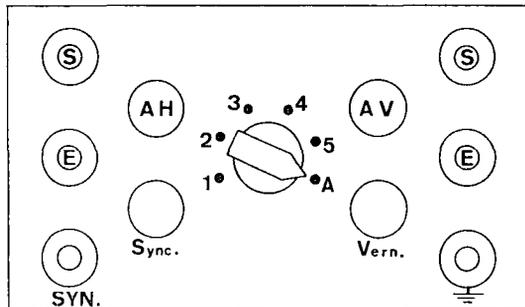


Fig. 19 — Painel de comando da face anterior do osciloscópio do modelo *MAE*. (Só nos interessa agora conhecer o significado das referências *S*, *E*, *AH* e *AV*).

reita), dois terminais, *E* (entrada) e *S* (saída), que correspondem às entradas e às saídas de amplificadores. Quando se quer aplicar uma tensão amplificada às placas *XX*, liga-se a fonte de tensão ao terminal *E* (da esquerda) e liga-se *S* a *X1* (fig. 20). O botão *AH* (amplificador horizontal) permite regular a amplificação da tensão.

Os terminais *S* e *E*, situados à direita do painel, e o botão *AV* (amplificador vertical) utilizam-se quando se pretende aplicar a tensão amplificada às placas *YY* (4).

Efectuando as ligações de acordo com a figura 20, e movendo o botão *AH*, amplia-se o comprimento do traço luminoso

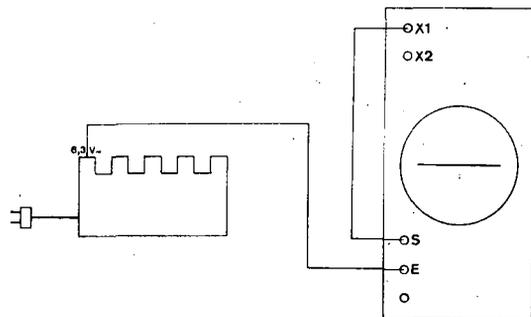


Fig. 20 — Amplificação da tensão 6,3V~ aplicada às placas *XX* do osciloscópio do modelo *MAE*.

a ponto de poder ocupar todo o alvo e ultrapassá-lo.

#### b) modelo *Phywe*

No modelo *Phywe* podemos ir buscar a tensão alternada aos terminais 12,6 V~ do respectivo bloco de alimentação, e não aos 6,3 V~ que estão ocupados em ligações entre os blocos. Liga-se, portanto, os terminais 12,6 V~ às placas *XX* ou às *YY*. Obtem-se um traço luminoso de cerca de 1,5 cm.

A tensão 12,6 V~ pode ser amplificada, à semelhança do modelo *MAE*, mas o modelo *Phywe* só tem amplificação vertical e o modo de trabalhar é diferente. Os terminais desse amplificador são o par que se encontra no bloco da base de tempo, à direita, em baixo, com as indicações  $Y_V$  e  $\ominus$  (fig. 8), e o respectivo

(4) Nestas experiências deverá manter-se o botão central do painel frontal de comando, na posição *A* conforme se vê na figura 19.

potenciômetro corresponde ao botão *Vers-tarkung*.

Ligam-se os terminais  $12,6V\sim$  aos do amplificador  $Y_V e \rightarrow$ , e move-se o botão do potenciômetro. Obtem-se, no alvo, um traço luminoso vertical de comprimento variável.

### 5. Acção de um campo magnético criado por uma bobina percorrida por corrente alternada.

A experiência pode ser feita com uma bobina (por exemplo da caixa de electricidade *Phywe*, de 1600 espiras e  $45\ \Omega$ ) ligada aos terminais do secundário de um transformador como o que foi usado em 4. 1. (fig. 17). Deve fazer-se a ligação com fios compridos para dar boa mobilidade à bobina. Pegando nesta e aproximando-a mais ou menos do tubo catódico, de preferência da sua parte média, e em seu redor, observam-se os efeitos do campo magnético criado pela corrente alternada. Não convém ter ligado o circuito da bobina durante muito tempo para que não aqueça demasiadamente.

### 6. Acção simultânea de duas tensões alternadas sobre o feixe electrónico.

Podem aplicar-se, simultaneamente, duas tensões alternadas, uma nas placas  $XX$  e outra nas placas  $YY$ . As figuras obtidas no alvo têm aspectos e situações diferentes que dependem dos valores relativos das tensões aplicadas, das suas frequências, amplitudes e fases relativas em que se encontram. Os laboratórios de Física dos liceus não estão apetrechados para obterem tensões alternadas de frequências várias, motivo por que, nas experiências que se seguem, só nos referiremos a tensões de iguais frequências.

#### 6. 1. Tensões alternadas, em fase, com iguais frequências e amplitudes.

A experiência resume-se em aplicar a tensão de uma mesma fonte aos dois pares de placas.

##### 6. 1. 1. Tensões alternadas fornecidas por uma fonte independente do osciloscópio.

Montando um transformador de 1200 espiras (primário) e de 150 (secundário) podem-se utilizar os 220 V alternados da rede pública segundo o esquema da figura 21, dando atenção a que o terminal do secundário que se for ligar a  $X1$ , se

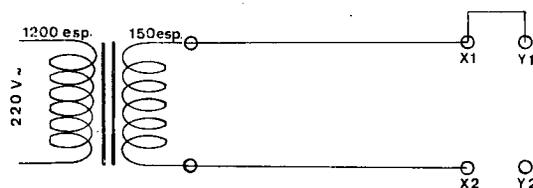


Fig. 21 — Aplicação de uma mesma tensão alternada aos dois pares de placas do tubo catódico, simultaneamente.

liga também a  $Y1$ . Ver-se-á, no alvo, um traço luminoso oblíquo, sensivelmente segundo a bissectriz dos quadrantes 1 e 3 dos eixos coordenados do alvo. O feixe electrónico encontra-se sujeito às acções de duas forças rectangulares, de intensidades variáveis mas sempre iguais entre si, cuja resultante também tem intensidade variável mas é sempre dirigida, aproximadamente, segundo a referida bissectriz. A direcção não é exactamente essa pois o seu declive é de  $40/45$  devido às diferentes sensibilidades dos desvios na horizontal e na vertical.

##### 6. 1. 2. Tensões alternadas fornecidas pelo bloco de alimentação do osciloscópio.

No caso do modelo *MAE*, utilizando os  $6,3\ \tilde{V}$  do bloco (fig. 22), obtem-se um pequeno traço oblíquo se a tensão não for

amplificada e um traço oblíquo de extensão variável amplificando a tensão (fig. 23). Neste caso a experiência torna-se mais interessante começando por colocar os botões dos dois amplificadores, *AH* e

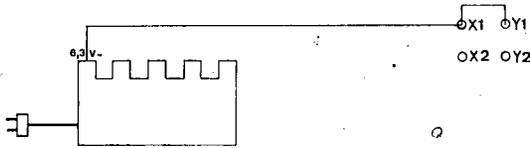


Fig. 22 — Aplicação da tensão alternada de 6,3 V do bloco *MAE* aos dois pares de placas, simultaneamente, sem amplificação.

*AV*, no zero. O sinal obtido será apenas o ponto central. Move-se então *AH*, observa-se o traço horizontal crescente e faz-se voltar *AH* ao zero; move-se *AV*, observa-se o traço vertical e faz-se voltar *AV* ao zero; movem-se os dois botões

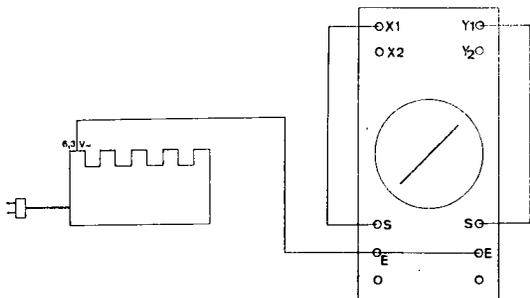


Fig. 23 — Aplicação da tensão alternada de 6,3 V do bloco *MAE* aos dois pares de placas, simultaneamente, com amplificação.

simultaneamente e observa-se o traço luminoso ampliar-se oblíquoamente.

No caso do modelo *Phywe* utilizam-se os terminais 12,6V que se ligam às placas *XX* e *YY*, sem amplificação.

6.2. Tensões alternadas, de iguais frequências e amplitudes, desfasadas de 90°.

Recorre-se, nesta experiência, à propriedade que apresenta um condensador quando submetido a uma tensão alternada

sinusoidal, de provocar um avanço de 90° na intensidade da corrente que o percorre em relação à respectiva tensão.

A figura 24 representa um circuito em série, que inclui um condensador (de 56 nF) e uma resistência (de 50 kΩ), ligado aos terminais do secundário do transformador já utilizado anteriormente. As duas tensões alternadas, de iguais frequências e amplitudes, mas desfa-

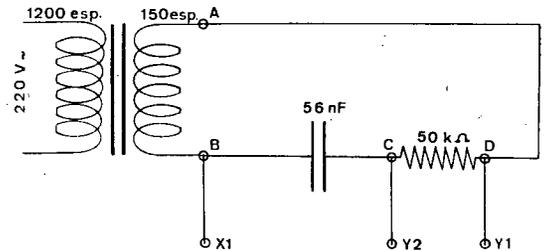


Fig. 24 — Aplicação, às placas do osciloscópio, de duas tensões alternadas sinusoidais, desfasadas de 90° entre si

sadas de 90°, conforme se pretende, vão-se buscar, uma aos terminais do condensador e outra aos terminais da resistência. Na montagem não é necessário ligar o condensador a *X<sub>2</sub>* (terra) porque, segundo o esquema, já está ligado a *Y<sub>2</sub>* que se encontra em comunicação com a terra.

Embora as ligações, para a experiência, se possam estabelecer por outra ordem sem ser a do esquema, é necessário fazê-las com a devida atenção para não se dar o caso de as duas armaduras do condensador ficarem ambas ligadas à terra, o que sucederia, por exemplo, ligando *B* a *X<sub>2</sub>* com *C* ligado a *Y<sub>2</sub>*.

O feixe electrónico do tubo catódico fica assim sujeito a duas forças rectangulares, sinusoidais, uma *F<sub>1</sub>* proporcional a  $\text{sen } \omega t$ , que podemos exprimir por  $F_1 = k \text{ sen } \omega t$ , e outra  $F_2 = k \text{ sen } \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$

que é igual a  $k \cos \omega t$ . A força resultante,  $F$ , será tal que:

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 = k^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = k^2$$

ou seja  $F = k$ . O feixe submetido a esta força de valor constante desenha, no alvo do osciloscópio, uma circunferência que aparece deformada em virtude das diferentes sensibilidades dos desvios provocados por cada par de placas. Os valores escolhidos, na experiência, para a resistência e a capacidade utilizadas, são os que permitem uma figura mais próxima da circunferência no modelo *MAE*, com 3 a 4 cm de diâmetro<sup>(5)</sup>.

### 6.3. Tensões alternadas, de iguais frequências e amplitudes, desfasadas de 180°.

Para conseguir o desfasamento de 180° bastará ligar os terminais da fonte de tensão alternada às placas *XX*, e os

<sup>(5)</sup> Não obtivemos resultados satisfatórios com o modelo *Phywe*.

mesmos terminais, mas invertidos, às placas *YY*, podendo-se dispensar uma das ligações à terra. Convém intercalar uma resistência elevada, por exemplo  $1 \text{ M}\Omega$ , no troço que se liga à terra. A figura 25 representa um possível esquema de montagem.

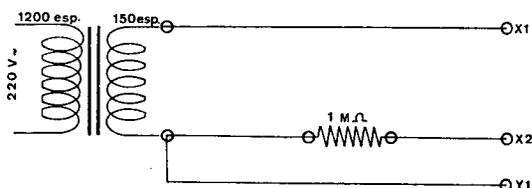


Fig. 25 — Aplicação, às placas do osciloscópio, de duas tensões alternadas sinusoidais, desfasadas de 180° entre si.

O sinal obtido no alvo será, teoricamente, um segmento de recta com a direcção da bissectriz dos quadrantes 2 e 4. Na realidade obtém-se um anel longo e mais ou menos fechado.

## Calores molares do alumínio, chumbo e cálcio, calculados a partir de dados de experiências neutrónicas

por JOSÉ F. SALGADO

(Laboratório de Física e Engenharia Nucleares)

### 1. Contribuição das vibrações térmicas das redes cristalinas para os calores molares dos sólidos

Os átomos constituintes de um cristal executam vibrações térmicas em torno de posições de equilíbrio. Estes movimentos podem ser tratados, em primeira aproximação, como vibratórios harmónicos — admite-se que a força a que fica sujeito um átomo é proporcional ao afas-

tamento em relação à posição de equilíbrio [9] — de modo que, sob o ponto de vista dinâmico, um cristal contendo  $N$  átomos<sup>(1)</sup> pode ser interpretado como um conjunto de  $3N$  osciladores harmónicos lineares e independentes [1, 2]. Cada oscilador é caracterizado por um vector de

<sup>(1)</sup> No que se segue considera-se sempre que nos referimos à molécula-grama, sendo, por isso,  $N$  o número de Avogadro.